

PCT

WELTORGANISATION FÜR GEISTIGES EIGENTUM
Internationales Büro



92088

5

INTERNATIONALE ANMELDUNG VERÖFFENTLICHT NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE
INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT)

(51) Internationale Patentklassifikation 7 :

H01F 10/08, H01L 43/08, G11C 11/15,
11/155, 11/16

A1

(11) Internationale Veröffentlichungsnummer: WO 00/10178

(43) Internationales
Veröffentlichungsdatum:

24. Februar 2000 (24.02.00)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE99/02387

(22) Internationales Anmeldedatum: 2. August 1999 (02.08.99)

(30) Prioritätsdaten:

198 36 568.3

12. August 1998 (12.08.98)

DE

(81) Bestimmungsstaaten: CN, JP, KR, US, europäisches Patent
(AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT,
LU, MC, NL, PT, SE).

Veröffentlicht

Mit internationalem Recherchenbericht.

*Vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche zugelassenen
Frist; Veröffentlichung wird wiederholt falls Änderungen
eintreffen.*

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten ausser US): SIEMENS
AKTIENGESELLSCHAFT [DE/DE]; Wittelsbacherplatz 2,
D-80333 München (DE).

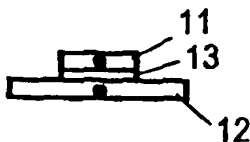
(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): SCHWARZL, Siegfried
[DE/DE]; Josef-Kyrein-Strasse 11 B, D-85579 Neubiberg
(DE).

(74) Gemeinsamer Vertreter: SIEMENS AKTIENGE-
SELLSCHAFT; Postfach 22 16 34, D-80506 München
(DE).

(54) Title: MAGNETORESISTIVE ELEMENT AND THE USE THEREOF AS STORAGE ELEMENT IN A STORAGE CELL ARRAY

(54) Bezeichnung: MAGNETORESISTIVES ELEMENT UND DESSEN VERWENDUNG ALS SPEICHERELEMENT IN EINER
SPEICHERZELLENANORDNUNG



(57) Abstract

According to the invention, a magnetoresistive element has a first ferromagnetic layer element (11), a non-magnetic layer element (13) and a second ferromagnetic layer element (12) disposed in such a way that the non-magnetic layer element (13) is disposed between the first ferromagnetic layer element and the second ferromagnetic layer element (12). The first ferromagnetic layer element (11) and the second ferromagnetic layer element (12) are substantially made of the same material. They differ, however, in terms of their cross section parallel to the interface with the non-magnetic layer element (13) in that at least one of their dimensions has different sizes. The magnetoresistive element is particularly suitable both as sensor element and as storage element in a storage cell array.

(57) Zusammenfassung

Ein magnetoresistives Element weist ein erstes ferromagnetisches Schichtelement (11), ein nichtmagnetisches Schichtelement (13) und ein zweites ferromagnetisches Schichtelement (12) auf, die so angeordnet sind, daß das nichtmagnetische Schichtelement (13) zwischen dem ersten ferromagnetischen Schichtelement und dem zweiten ferromagnetischen Schichtelement (12) angeordnet ist. Das erste ferromagnetische Schichtelement (11) und das zweite ferromagnetische Schichtelement (12) weisen im wesentlichen das gleiche Material auf, sie unterscheiden sich jedoch in ihrem Querschnitt parallel zur Grenzfläche zu dem nichtmagnetischen Schichtelement (13) dadurch, daß sie in mindestens einer Dimension unterschiedliche Abmessungen aufweisen. Das magnetoresistive Element ist sowohl als Sensorelement als auch als Speicherelement einer Speicherzellenanordnung geeignet.

LEDIGLICH ZUR INFORMATION

Codes zur Identifizierung von PCT-Vertragsstaaten auf den Kopfbögen der Schriften, die internationale Anmeldungen gemäss dem PCT veröffentlichen.

AL	Albanien	ES	Spanien	LS	Lesotho	SI	Slowenien
AM	Armenien	FI	Finnland	LT	Litauen	SK	Slowakei
AT	Österreich	FR	Frankreich	LU	Luxemburg	SN	Senegal
AU	Australien	GA	Gabun	LV	Lettland	SZ	Swasiland
AZ	Aserbaidshan	GB	Vereinigtes Königreich	MC	Monaco	TD	Tschad
BA	Bosnien-Herzegowina	GE	Georgien	MD	Republik Moldau	TG	Togo
BB	Barbados	GH	Ghana	MG	Madagaskar	TJ	Tadschikistan
BE	Belgien	GN	Guinea	MK	Die ehemalige jugoslawische Republik Mazedonien	TM	Turkmenistan
BF	Burkina Faso	GR	Griechenland			TR	Türkei
BG	Bulgarien	HU	Ungarn	ML	Mali	TT	Trinidad und Tobago
BJ	Benin	IE	Irland	MN	Mongolei	UA	Ukraine
BR	Brasilien	IL	Israel	MR	Mauritanien	UG	Uganda
BY	Belarus	IS	Island	MW	Malawi	US	Vereinigte Staaten von Amerika
CA	Kanada	IT	Italien	MX	Mexiko		
CF	Zentralafrikanische Republik	JP	Japan	NE	Niger	UZ	Usbekistan
CG	Kongo	KE	Kenia	NL	Niederlande	VN	Vietnam
CH	Schweiz	KG	Kirgisistan	NO	Norwegen	YU	Jugoslawien
CI	Côte d'Ivoire	KP	Demokratische Volksrepublik Korea	NZ	Neuseeland	ZW	Zimbabwe
CM	Kamerun			PL	Polen		
CN	China	KR	Republik Korea	PT	Portugal		
CU	Kuba	KZ	Kasachstan	RO	Rumänien		
CZ	Tschechische Republik	LC	St. Lucia	RU	Russische Föderation		
DE	Deutschland	LI	Liechtenstein	SD	Sudan		
DK	Dänemark	LK	Sri Lanka	SE	Schweden		
EE	Estland	LR	Liberia	SG	Singapur		

Beschreibung

Magnetoresistives Element und dessen Verwendung als Speicherelement in einer Speicherzellenanordnung.

5

Magnetoresistive Elemente, auch Magnetowiderstandselement genannt, werden zunehmend als Sensorelement oder als Speicherelement für Speicherzellenanordnungen, sogenannte MRAM, verwendet (siehe S. Mengel, Technologieanalyse Magnetismus Band 10 2, XMR-Technologien, Herausgeber VDI Technologiezentrum Physikalische Technologien, August 1997). Als magnetoresistives Element wird in der Fachwelt eine Struktur verstanden, die mindestens zwei ferromagnetische Schichten und eine dazwischen angeordnete nichtmagnetische Schicht aufweisen. Je nach 15 Aufbau der Schichtstruktur wird dabei unterschieden zwischen GMR-Element, TMR-Element und CMR-Element.

Der Begriff GMR-Element wird in der Fachwelt für Schichtstrukturen verwendet, die mindestens zwei ferromagnetische Schichten und eine dazwischen angeordnete nichtmagnetische, leitende Schicht aufweisen und den sogenannten GMR-(giant magnetoresistance)Effekt zeigen. Unter dem GMR-Effekt wird die Tatsache verstanden, daß der elektrische Widerstand des GMR-Elementes abhängig davon ist, ob die Magnetisierungen 25 in den beiden ferromagnetischen Schichten parallel oder antiparallel ausgerichtet sind. Der GMR-Effekt ist im Vergleich zum sogenannten AMR-(anisotropic magnetoresistance)Effekt groß. Als AMR-Effekt wird die Tatsache verstanden, daß der Widerstand in magnetisierten Leitern parallel und senkrecht zur Magnetisierungsrichtung verschieden ist. Bei dem AMR-Effekt handelt es sich um einen Volumeneffekt, der in ferromagnetischen Einfachschichten auftritt. 30

Der Begriff TMR-Element wird in der Fachwelt für Tunneling Magnetoresistance Schichtstrukturen verwendet, die mindestens 35 zwei ferromagnetische Schichten und eine dazwischen angeordnete isolierende, nichtmagnetische Schicht aufweisen. Die

isolierende Schicht ist dabei so dünn, daß es zu einem Tunnelstrom zwischen den beiden ferromagnetischen Schichten kommt. Diese Schichtstrukturen zeigen ebenfalls einen magnetoresistiven Effekt, der durch einen spinpolarisierten Tunnelstrom durch die zwischen den beiden ferromagnetischen Schichten angeordnete isolierende, nichtmagnetische Schicht bewirkt wird. Auch in diesem Fall ist der elektrische Widerstand des TMR-Elementes abhängig davon, ob die Magnetisierungen in den beiden ferromagnetischen Schichten parallel oder antiparallel ausgerichtet sind. Die relative Widerstandsänderung beträgt dabei etwa 6 Prozent bis ca. 30 Prozent.

Ein weiterer Magnetowiderstandseffekt, der wegen seiner Größe (relative Widerstandsänderung von 100 bis 400 Prozent bei Raumtemperatur) Collosal Magnetoresistance-Effekt. (CMR-Effekt) genannt wird, erfordert wegen seiner hohen Koezitivkräfte ein hohes Magnetfeld zum Umschalten zwischen den Magnetisierungszuständen.

In US-5 477 482 ist vorgeschlagen worden, die ferromagnetischen Schichten und die nichtmagnetische Schicht eines CMR-Elements ringförmig auszubilden, wobei die Ringe aufeinander gestapelt oder konzentrisch ineinander angeordnet sind.

Es ist vorgeschlagen worden (siehe zum Beispiel S. Tehrani et al, IEDM 96-193 und D. D. Tang et a, IEDM 95-997), GMR-Elemente bzw. TMR-Elemente als Speicherelemente in einer Speicherzellenanordnung zu verwenden. Die Speicherelemente werden über Leseleitungen in Reihe geschaltet. Quer dazu verlaufen Wortleitungen, die sowohl gegenüber den Leseleitungen als auch gegenüber den Speicherelementen isoliert sind. An die Wortleitungen angelegte Signale verursachen durch den in der Wortleitung fließenden Strom ein Magnetfeld, das bei hinreichender Stärke die darunter befindlichen Speicherelemente beeinflusst. In der Speicherzellenanordnung wird ausgenutzt, daß sich der Widerstand der Speicherelemente unterscheidet, je nachdem ob die Magnetisierungen in den beiden ferromagne-

tischen Schichten parallel oder antiparallel zueinander ausgerichtet sind. Zum Einschreiben von Information wird daher die Magnetisierungsrichtung der einen ferromagnetischen Schicht festgehalten, während die der anderen ferromagnetischen Schicht geschaltet wird. Dazu werden sich kreuzende Leitungen, die auch als xy-Leitungen bezeichnet werden und die sich an der zu beschreibenden Speicherzelle kreuzen, so mit Signalen beaufschlagt, daß am Kreuzungspunkt ein für die Ummagnetisierung ausreichendes magnetisches Feld verursacht wird.

Das Festhalten der Magnetisierungsrichtung in der einen ferromagnetischen Schicht erfolgt durch eine benachbarte antiferromagnetische Schicht, die die Magnetisierung festhält (siehe D. D. Tang et al, IEDM 95-997) oder durch unterschiedliche Schichtdicken der ferromagnetischen Schichten (siehe S. Tehrani et al, IEDM 96-193). Dabei weist die antiferromagnetische Schicht eine andere Materialzusammensetzung als die benachbarte ferromagnetische Schicht, deren Magnetisierungszustand festgehalten wird, auf.

Die unterschiedlichen Schichtdicken der beiden ferromagnetischen Schichten bewirken, daß in der einen ferromagnetischen Schicht ein höheres Magnetfeld zur Beeinflussung der Magnetisierungsrichtung erforderlich ist als in der anderen. Zum Einschreiben von Information wird das Magnetfeld so bemessen, daß es nur die Magnetisierungsrichtung in der einen der beiden ferromagnetischen Schichten beeinflussen kann. Die Magnetisierungsrichtung in der anderen ferromagnetischen Schicht, die nur mit einem erhöhten Magnetfeld umschaltbar ist, bleibt somit davon unbeeinflußt.

Da die Schichtdicke der ferromagnetischen Schicht einerseits aus fertigungstechnischen Gründen eine minimale Schichtdicke von etwa 5 nm nicht unterschreiten kann, andererseits die maximale Schichtdicke der ferroelektrischen Schicht in einem GMR- oder TMR-Element ebenfalls begrenzt ist durch die Tatsa-

che, daß eine definierte Magnetisierungsrichtung parallel zur Schichtebene vorliegen muß, ist in diesem Fall eine genaue Einstellung des Schaltmagnetfeldes erforderlich.

- 5 Der Erfindung liegt das Problem zugrunde, ein magnetoresistives Element anzugeben, das im Rahmen einer Halbleiterprozeßtechnik mit guter Ausbeute herstellbar ist und das bezüglich der Einstellung des Schaltmagnetfeldes unempfindlich ist.
- 10 Dieses Problem wird erfindungsgemäß gelöst durch ein magnetoresistives Element gemäß Anspruch 1. Weitere Ausgestaltungen der Erfindung gehen aus den Unteransprüchen hervor.

Das magnetoresistive Element ist unter anderem vorteilhaft
15 verwendbar als Speicherelement in einer Speicherzellenanordnung. Darüber hinaus ist das magnetoresistive Element als Sensorelement einsetzbar.

Das magnetoresistive Element weist ein erstes ferromagnetisches Schichtelement, ein nichtmagnetisches Schichtelement
20 und ein zweites ferromagnetisches Schichtelement auf, die so angeordnet sind, daß das nichtmagnetische Schichtelement zwischen dem ersten ferromagnetischen Schichtelement und dem zweiten ferromagnetischen Schichtelement angeordnet ist. Da-
25 bei weist das nichtmagnetische Schichtelement sowohl zu dem ersten ferromagnetischen Schichtelement als auch zu dem zweiten ferromagnetischen Schichtelement jeweils eine Grenzfläche auf. Das erste ferromagnetische Schichtelement und das zweite ferromagnetische Schichtelement weisen im wesentlichen das
30 gleiche Material auf. Das erste ferromagnetische Schichtelement und das zweite ferromagnetische Schichtelement weisen in mindestens einer Dimension parallel zur Grenzfläche zu dem nichtmagnetischen Schichtelement unterschiedliche Abmessungen auf.

35

Durch diese unterschiedliche Formgebung des ersten ferromagnetischen Schichtelementes und des zweiten ferromagnetischen

Schichtelemente unterscheiden sich die Magnetfelder, die erforderlich sind, um die Magnetisierungsrichtungen in den ferromagnetischen Schichtelementen umzuschalten. Dieser Effekt wird als Formanisotropie bezeichnet. Da in jedem Schichtelement die Abmessungen senkrecht zur Schichtdicke deutlich größer sind als die Schichtdicke, sind in diesem magnetoresistiven Element größere Unterschiede in dieser Abmessung möglich als dies in dem in S. Tehrani et al, IEDM 96-193, vorgeschlagenen Element bezüglich der Schichtdicke möglich ist. Diese größeren Unterschiede in der Abmessung bewirken deutlich unterschiedliche Magnetfeldstärken, die zum Umschalten der Magnetisierungsrichtung in der jeweiligen Schicht erforderlich sind. Damit ist das magnetoresistive Element unempfindlicher bezüglich der genauen Einstellung des Schaltmagnetfeldes.

Da das erste ferromagnetische Schichtelement und das zweite ferromagnetische Schichtelement im wesentlichen aus dem gleichen Material bestehen, kann das magnetoresistive Element im Rahmen einer Halbleiterprozeßtechnik, insbesondere Siliziumprozeßtechnik mit den dort auftretenden Temperaturbelastungen etwa 450°C hergestellt werden. In diesem Temperaturbereich ist aufgrund der Diffusionsbeweglichkeit der in magnetoresistiven Schichtsystemen enthaltenen Elemente, insbesondere Fe, Co, Ni, Cu etc., mit einer Diffusion zu rechnen, die die Eigenschaften der ferromagnetischen Schichtelemente verändert. Aufgrund der befürchteten Diffusion kommt es zu einer Veränderung der Materialzusammensetzung in den Grenzflächenzonen, die den spinabhängigen Elektronentransport, auf dem die Magnetowiderstandseffekte in diesen Elementen beruhen, beeinträchtigt. Es wird daher erwartet, daß bereits geringe diffusionsbedingte Materialwanderungen mit einer Reichweite im Bereich von 1 bis 5 nm über diese Grenzflächen hinweg zu erheblichen Veränderungen der magnetischen und elektrischen Eigenschaften führen. Der Einsatz einer antiferromagnetischen Schicht zum Festhalten der Magnetisierungsrichtung in einer der ferromagnetischen Schichten erscheint damit ebenfalls problematisch, da die antiferromagnetische Schicht sich be-

zöglich der Materialzusammensetzung von der ferromagnetischen Schicht unterscheiden muß und durch diese Diffusionsvorgänge zwischen den benachbarten Schichten mit einer Veränderung der Materialzusammensetzung zu rechnen ist.

5

Dieses Problem wird in dem erfindungsgemäßen magnetoresistiven Element dadurch gelöst, daß die beiden ferromagnetischen Schichtelemente im wesentlichen aus dem gleichen Material bestehen, so daß zwischen den beiden ferromagnetischen Schichtelementen kein Konzentrationsgradient auftritt. Durch den fehlenden Konzentrationsgradienten zwischen den beiden ferromagnetischen Schichtelementen verschwindet die Triebkraft für einen diffusionsbedingten Materialtransport über das nichtmagnetische Schichtelement hinaus.

15

Parallel zur Grenzfläche zu dem nicht magnetischen Schichtelement können die ferromagnetischen Schichtelemente einen beliebigen Querschnitt aufweisen.

20 Gemäß einer Ausgestaltung der Erfindung sind das erste ferromagnetische Schichtelement, das nichtmagnetische Schichtelement und das zweite ferromagnetische Schichtelement als ebene Schichtelemente ausgebildet, die zu einem Schichtstapel zusammengefügt sind. In diesem Fall unterscheiden sich in mindestens einer Dimension, die senkrecht zur Richtung der Schichtenfolge ist, die Abmessungen des ersten ferromagnetischen Schichtelements und des zweiten ferromagnetischen Schichtelements. Es liegt dabei im Rahmen der Erfindung, daß die erste ferromagnetische Schicht und die zweite ferromagnetische Schicht in einer Dimension senkrecht zur Schichtenfolge im wesentlichen die gleichen Abmessungen aufweisen.

30

Vorzugsweise liegt die Dicke des ersten ferromagnetischen Schichtelements zwischen 2 nm und 20 nm. Senkrecht zur Schichtdicke betragen die Abmessungen des ersten ferromagnetischen Schichtelements und des zweiten ferromagnetischen Schichtelements 50 nm x 80 nm bis 250 nm x 400 nm, wobei in

35

einer Dimension ein Unterschied von mindestens 20 Prozent bis 30 Prozent besteht. Der Querschnitt des ersten ferromagnetischen Schichtelements und des zweiten ferromagnetischen Schichtelements ist dabei vorzugsweise im wesentlichen rechteckig. Er kann aber auch rund, oval oder mehreckig sein.

Gemäß einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung sind das erste ferromagnetische Schichtelement, das nichtmagnetische Schichtelement und das zweite ferromagnetische Schichtelement jeweils ringförmig ausgestaltet, wobei sich die Ringbreiten des ersten ferromagnetischen Schichtelementes und des zweiten ferromagnetischen Schichtelementes unterscheiden. Das erste ferromagnetische Schichtelement, das nichtmagnetische Schichtelement und das zweite ferromagnetische Schichtelement weisen die Form eines Hohlzylinders auf und sind in Richtung der Hauptachsen der Hohlzylinder gestapelt sind. Die Formanisotropie des magnetischen Schaltfeldes wird in dieser Ausgestaltung durch die unterschiedlichen Ringbreiten, das heißt die halbe Differenz von Außendurchmesser und Innendurchmesser des jeweiligen Hohlzylinders, des ersten ferromagnetischen Schichtelementes und des zweiten ferromagnetischen Schichtelementes realisiert. Die Dicke des ersten ferromagnetischen Schichtelementes und des zweiten ferromagnetischen Schichtelementes beträgt jeweils 2 nm bis 20 nm. Der Außendurchmesser des ersten ferromagnetischen Schichtelementes und des zweiten ferromagnetischen Schichtelementes liegt im Bereich zwischen 50 nm und 400 nm, wobei sich die Außendurchmesser und/ oder Innendurchmesser des ersten ferromagnetischen Schichtelementes und des zweiten ferromagnetischen Schichtelementes um 20 Prozent bis 50 Prozent unterscheiden.

Gemäß einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung sind das erste ferromagnetische Schichtelement, das nichtmagnetische Schichtelement und das zweite ferromagnetische Schichtelement jeweils als Hohlzylinder ausgestaltet und konzentrisch zueinander angeordnet, wobei das nichtmagnetische Schichtelement zwischen dem ersten ferromagnetischen Schichtelement und dem

zweiten ferromagnetischen Schichtelement angeordnet ist. Das erste ferromagnetische Schichtelement und das zweite ferromagnetische Schichtelement unterscheiden sich in diesem Fall bezüglich ihrer Höhe parallel zur Zylinderachse.

5

Die Höhe des ersten ferromagnetischen Schichtelementes liegt vorzugsweise zwischen 50 nm und 250 nm, die Höhe des zweiten ferromagnetischen Schichtelementes zwischen 80 nm und 400 nm, wobei der Unterschied in der Höhe zwischen 30 nm und 150 nm
10 liegt und mindestens 20 bis 30 Prozent betragen sollte.

Vorzugsweise enthalten die ferromagnetischen Schichtelemente jeweils mindestens eines der Elemente Fe, Ni, Co, Cr, Mn, Gd, Dy. Das nichtmagnetische Schichtelement kann sowohl leitend
15 als auch nichtleitend sein. Vorzugsweise wird das nichtmagnetische Schichtelement nichtleitend vorgesehen und weist mindestens eines der Materialien Al_2O_3 , NiO, HfO_2 , TiO_2 , NbO, und/oder SiO_2 auf und weist eine Abmessung senkrecht zur Grenzfläche zu den ferromagnetischen Schichtelementen im Be-
20 reich zwischen 1 und 4 nm auf. In diesem Fall ist das magnetoresistive Element ein TMR-Element, das im Vergleich zu einem GMR-Element einen hohen elektrischen Widerstand senkrecht zur Tunnelschicht aufweist.

25 Alternativ kann das nichtmagnetische Schichtelement aus leitendem Material, zum Beispiel Cu, Au oder Al realisiert sein und eine Abmessung senkrecht zur Grenzfläche zu den ferromagnetischen Schichtelementen von 2 nm bis 4 nm aufweisen.

30 Im folgenden werden Ausführungsbeispiele der Erfindung anhand der Figuren näher erläutert.

Figur 1a zeigt eine Aufsicht auf ein magnetoresistives Element mit ebenen Schichtelementen, bei dem sich die
35 Abmessungen eines ersten ferromagnetischen Elementes und eines zweiten ferromagnetischen Elementes senkrecht zu den Magnetisierungsrichtungen unterscheiden.

Figur 1b zeigt den in Figur 1a mit Ib-Ib bezeichneten Schnitt.

5 Figur 2a zeigt eine Aufsicht auf ein magnetoresistives Element mit planaren Schichtelementen, bei dem sich die Abmessungen eines ersten ferromagnetischen Schichtelementes und eines zweiten ferromagnetischen Schichtelementes parallel zu den Magnetisierungsrichtungen
10 unterscheiden.

Figur 2b zeigt den in Figur 2a mit IIb-IIb bezeichneten Schnitt.

15 Figur 3a zeigt eine Aufsicht auf ein magnetoresistives Element, das übereinander gestapelte, hohlzylinderförmige Schichtelemente, die sich bezüglich ihres Außendurchmessers unterscheiden, aufweist.

20 Figur 3b zeigt den in Figur 3a mit IIIb-IIIb bezeichneten Schnitt.

Figur 4a zeigt eine Aufsicht auf ein magnetoresistives Element, das hohlzylinderförmige Schichtelemente aufweist, die konzentrisch zueinander angeordnet sind
25 und die sich bezüglich ihrer Höhe unterscheiden.

Figur 4b zeigt den in Figur 4a mit IVb-IVb bezeichneten Schnitt.

30 Figur 5 zeigt einen Ausschnitt aus einer Speicherzellenanordnung, die als Speicherelemente magnetoresistive Elemente aufweist.

35 Ein erstes ferromagnetisches Schichtelement 11, ein nichtmagnetisches Schichtelement 13 und ein zweites ferromagnetisches Schichtelement 12 sind als Stapel übereinander angeordnet.

net (siehe Figur 1a, Figur 1b). Das erste ferromagnetische Schichtelement 11 weist eine im wesentlichen rechteckige Form auf mit Abmessungen von 130 nm x 250 nm. In Richtung der Schichtenfolge weist das erste ferromagnetische Schichtelement 11 eine Dicke von 10 nm auf. Das nichtmagnetische Schichtelement 13 weist ebenfalls einen im wesentlichen rechteckigen Querschnitt mit Abmessungen von 130 nm x 250 nm auf. Es weist in Richtung der Schichtenfolge eine Dicke von 2 nm auf. Das zweite ferromagnetische Schichtelement 12 weist einen im wesentlichen rechteckigen Querschnitt mit Abmessungen von 200 nm x 250 nm auf. In Richtung der Schichtenfolge weist es eine Dicke von 10 nm auf.

Das erste ferromagnetische Schichtelement 11 und das nichtmagnetische Schichtelement 13 weisen die gleiche Länge wie das zweite ferromagnetische Schichtelement 12 jedoch eine geringere Breite als das zweite ferromagnetische Schichtelement 12 auf. Das erste ferromagnetische Schichtelement 11 und das nichtmagnetische Schichtelement 13 sind in der Breite mittig auf dem zweiten ferromagnetischen Schichtelement 12 angeordnet. Sowohl in dem ersten ferromagnetischen Schichtelement 11 als auch in dem zweiten ferromagnetischen Schichtelement 12 existieren bevorzugte Magnetisierungsrichtungen parallel zur Länge des jeweiligen Schichtelementes 11, 12. Die Magnetisierungsrichtungen sind in Figur 1a als Doppelpfeile eingetragen.

Das erste ferromagnetische Schichtelement 11 und das zweite ferromagnetische Schichtelement 12 weisen dieselbe Materialzusammensetzung auf. Sie bestehen aus Co. Das nichtmagnetische Schichtelement 13 besteht aus Al_2O_3 .

Das erste ferromagnetische Schichtelement 11 weist eine höhere Schaltschwelle als das zweite ferromagnetische Schichtelement auf.

In einem zweiten Ausführungsbeispiel sind ein erstes ferromagnetisches Schichtelement 21 aus Co, ein nichtmagnetisches Schichtelement 23 aus Al_2O_3 und ein zweites ferromagnetisches Schichtelement 22 aus Co übereinander angeordnet (siehe Figur 2a, Figur 2b). Das erste ferromagnetische Schichtelement 21 weist eine im wesentlichen rechteckige Form auf mit einer Länge von 250 nm, einer Breite von 130 nm und einer Dicke in Richtung der Schichtenfolge von 10 nm. Das zweite ferromagnetische Schichtelement 22 weist ebenfalls einen im wesentlichen rechteckigen Querschnitt auf mit einer Länge von 200 nm, einer Breite von 130 nm und einer Dicke in Richtung der Schichtenfolge von 10 nm. Das nichtmagnetische Schichtelement 23 weist den gleichen Querschnitt wie das zweite ferromagnetische Schichtelement 22 auf und eine Dicke parallel zur Schichtenfolge von 2 nm.

In dem ersten ferromagnetischen Schichtelement 21 und in dem zweiten ferromagnetischen Schichtelement 22 werden jeweils Magnetisierungszustände mit Magnetisierungsrichtungen parallel zur Länge des jeweiligen Schichtelementes 21, 22 eingenommen. Die Magnetisierungseinrichtungen sind in Figur 2a als Doppelpfeil eingetragen.

Das zweite ferromagnetische Schichtelement 22 und das nichtmagnetische Schichtelement 23 sind in Richtung der Länge mittig auf dem ersten ferromagnetischen Schichtelement 21 angeordnet. In dieser Anordnung weist das erste ferromagnetische Schichtelement eine höhere Schaltschwelle als das zweite ferromagnetische Schichtelement 22 auf.

In einem dritten Ausführungsbeispiel weist ein magnetoresistives Element ein erstes ferromagnetisches Schichtelement 31 aus NiFe, ein zweites ferromagnetisches Schichtelement 32 aus NiFe und ein nichtmagnetisches Schichtelement 33 aus Al_2O_3 mit jeweils zylinderförmigem Querschnitt auf (siehe Figur 3a, Figur 3b). Das erste ferromagnetische Schichtelement 31, das nichtmagnetische Schichtelement 33 und das zweite ferromagne-

tische Schichtelement 32 sind in Richtung der Hauptachsen der Hohlzylinder zu einem Stapel angeordnet, in dem das nichtmagnetische Schichtelement 33 zwischen dem ersten ferromagnetischen Schichtelement 31 und dem zweiten ferromagnetischen Schichtelement 32 angeordnet ist und in dem die Achsen der Zylinder zusammenfallen.

Das erste ferromagnetische Schichtelement 31 und das zweite ferromagnetische Schichtelement 32 weisen jeweils eine Dicke parallel zur Hauptachse von 10 nm auf. In dem ersten ferromagnetischen Schichtelement 31 und dem zweiten ferromagnetischen Schichtelement 32 stellen sich ringförmige Magnetisierungszustände ein, die in Richtung oder in Gegenrichtung des Uhrzeigersinns ausgerichtet sein können.

Das nichtmagnetische Schichtelement 33 weist parallel zur Hauptachse eine Dicke von 2 nm auf. Der Außendurchmesser des ersten ferromagnetischen Schichtelementes 31 beträgt 200 nm, der Außendurchmesser des zweiten ferromagnetischen Schichtelementes 32 beträgt 250 nm, der Innendurchmesser aller Schichtelemente 130 nm.

In dieser Anordnung weist das erste ferromagnetische Schichtelement 31 eine größere Schaltschwelle als das zweite ferromagnetische Schichtelement 32 auf.

Analog können sich die übereinander gestapelten, hohlzylinderförmigen Schichtelemente bezüglich ihres Innendurchmessers oder Innen- und Außendurchmessers unterscheiden.

30

In einem vierten Ausführungsbeispiel sind ein erstes ferromagnetisches Schichtelement 41 aus NiFe, ein nichtmagnetisches Schichtelement 43 aus Al_2O_3 und ein zweites ferromagnetisches Schichtelement 42 aus NiFe vorgesehen, die jeweils die Form eines Hohlzylinders aufweisen und die konzentrisch zueinander angeordnet sind. Dabei ist das nichtmagnetische Schichtelement 43 zwischen dem ersten ferromagnetischen Schichtelement

35

41 und dem zweiten ferromagnetischen Schichtelement 42 angeordnet (siehe Figur 4a, Figur 4b).

Das erste ferromagnetische Schichtelement 41 weist einen Außendurchmesser von ca. 270 nm, einen Innendurchmesser von ca. 260 nm und eine Höhe parallel zur Hauptachse des Hohlzylinders von 180 nm auf. Das nichtmagnetische Schichtelement 43 weist einen Außendurchmesser von ca. 260 nm, eine Dicke von 2 nm und eine Höhe parallel zur Hauptachse des Hohlzylinders von mindestens 180 nm auf. Das zweite ferromagnetische Schichtelement 42 weist einen Außendurchmesser von ca. 258 nm, einen Innendurchmesser von ca. 250 nm und eine Höhe parallel zur Hauptachse des Hohlzylinders von 250 nm auf. Das erste ferromagnetische Schichtelement 41 und das nichtmagnetische Schichtelement 43 sind in Bezug auf die Höhe mittig auf dem zweiten ferromagnetischen Schichtelement 42 angeordnet.

In dem ersten ferromagnetischen Schichtelement 41 sowie in dem zweiten ferromagnetischen Schichtelement 42 ist die Magnetisierung ringförmig und kann im Uhrzeigersinn bzw. gegen den Uhrzeigersinn ausgerichtet sein. Die Magnetisierungsrichtung ist in Figur 4a jeweils als Doppelpfeil eingetragen.

In dieser Anordnung weist das erste ferromagnetische Schichtelement 41 eine höhere Schaltschwelle als das zweite ferromagnetische Schichtelement 42 auf.

Zum Aufbau einer Speicherzellenanordnung, die als Speicherzelle S magnetoresistive Elemente aufweist, die wie anhand von Figur 1a bis Figur 4b geschildert ausgebildet sind, werden die Speicherelemente S rasterförmig angeordnet (siehe Figur 5). Jedes Speicherelement S ist dabei zwischen eine erste Leitung L1 und eine zweite Leitung L2 geschaltet. Die ersten Leitungen L1 verlaufen untereinander parallel und kreuzen die zweiten Leitungen L2, die untereinander ebenfalls parallel verlaufen. Zum Schreiben eines Speicherelementes S wird an

die zugehörige Leitung L1 und die zugehörige zweite Leitung L2 jeweils ein solcher Strom angelegt, daß am Kreuzungspunkt der ersten Leitung L1 und der zweiten Leitung L2, an dem das Speicherelement S angeordnet ist, ein ausreichendes Magnetfeld entsteht, um die Magnetisierungsrichtung des zweiten ferromagnetischen Schichtelementes umzuschalten. Das am jeweiligen Kreuzungspunkt wirksame Magnetfeld ist dabei eine Überlagerung aus dem durch den Stromfluß in der ersten Leitung L1 induzierten Magnetfeldes und des durch den Stromfluß in der zweiten Leitung L2 induzierten Magnetfeldes.

Patentansprüche

1. Magnetoresistives Element,

- 5 - bei dem ein erstes ferromagnetisches Schichtelement (11),
ein nichtmagnetisches Schichtelement (13) und ein zweites
ferromagnetisches Schichtelement vorgesehen sind, die so
angeordnet sind, daß das nichtmagnetische Schichtelement
zwischen dem ersten ferromagnetischen Schichtelement (11)
10 und dem zweiten ferromagnetischen Schichtelement (12) ange-
ordnet ist, wobei das nichtmagnetische Schichtelement (13)
zu dem ersten ferromagnetischen Schichtelement (11) und dem
zweiten ferromagnetischen Schichtelement (12) jeweils eine
Grenzfläche aufweist,
- 15 - bei dem das erste ferromagnetische Schichtelement (11) und
das zweite ferromagnetische Schichtelement (12) im wesent-
lichen das gleiche Material aufweisen,
- 20 - bei dem das erste ferromagnetische Schichtelement (11) und
das zweite ferromagnetische Schichtelement (12) jeweils in
mindestens einer Dimension parallel zur Grenzfläche zum
nichtmagnetischen Schichtelement (13) unterschiedliche Ab-
messungen aufweisen.

25

2. Magnetoresistives Element nach Anspruch 1,

- bei dem das erste ferromagnetische Schichtelement (11) und
das zweite ferromagnetische Schichtelement (12) jeweils
30 mindestens eines der Elemente Fe, Ni, Co, Cr, Mn, Gd, Dy
enthalten,
- bei dem die nichtmagnetische Schicht mindestens einer Mate-
rialien Al_2O_3 , NiO , HfO_2 , TiO_2 , NbO , SiO_2 enthält und eine
35 Dicke im Bereich zwischen 1 und 4 nm aufweist oder minde-
stens eines der Materialien Cu, Ag, Au enthält und eine
Dicke im Bereich zwischen 2 und 4 nm aufweist.

3. Magnetoresistives Element nach Anspruch 1 oder 2,

- 5 - bei dem das erste ferromagnetische Schichtelement (11), das zweite ferromagnetische Schichtelement (12) und das nicht-magnetische Schichtelement (13) jeweils als flächiges Schichtelement ausgebildet sind und übereinander als Stapel angeordnet sind,
- 10 - bei dem das erste ferromagnetische Schichtelement und das zweite ferromagnetische Schichtelement in einer Dimension senkrecht zur Schichtenfolge im Stapel im wesentlichen die gleichen Abmessungen aufweisen.

15 4. Magnetoresistives Element nach Anspruch 3,

- 20 - bei dem das erste ferromagnetische Schichtelement (11) senkrecht zur Schichtenfolge Abmessungen von 50 nm bis 250 nm x 80 nm bis 400 nm und parallel zur Schichtenfolge eine Dicke zwischen 2 nm und 200 nm aufweist,
- 25 - bei dem das zweite ferromagnetische Schichtelement (12) senkrecht zur Schichtenfolge Abmessungen von 65 nm bis 350 nm x 80 nm bis 400 nm und parallel zur Schichtenfolge eine Dicke von 2 bis 20 nm aufweist,
- 30 - bei dem sich die Abmessungen des ersten ferromagnetischen Schichtelementes (11) und des zweiten ferromagnetischen Schichtelementes (12) in einer Dimension senkrecht zur Schichtenfolge um mindestens 20 Prozent bis 30 Prozent unterscheiden.

5. Magnetoresistives Element nach Anspruch 1 oder 2,

- 35 - bei dem das erste ferromagnetische Schichtelement (31), das nichtmagnetische Schichtelement (33) und das zweite ferromagnetische Schichtelement (33) jeweils hohlzylinderförmig

ausgestaltet sind, wobei der Außendurchmesser und/oder Innendurchmesser des ersten ferromagnetischen Schichtelementes (31) sich von dem Außendurchmesser bzw. dem Innendurchmesser des zweiten ferromagnetischen Schichtelementes (32) unterscheidet und wobei das erste ferromagnetische Schichtelement (31), das nichtmagnetische Schichtelement (33) und das zweite ferromagnetische Schichtelement (32) in Richtung der Hauptachsen der Hohlzylinder gestapelt sind.

6. Magneto-resistives Schichtelement nach Anspruch 5,

- bei dem der Außendurchmesser des ersten ferromagnetischen Schichtelementes (31) 75 nm bis 300 nm und die Dicke des ersten ferromagnetischen Schichtelementes (31) parallel zur Hauptachse 2 nm bis 20 nm beträgt,

- bei dem der Außendurchmesser des zweiten ferromagnetischen Schichtelementes (32) 100 nm bis 400 nm und die Dicke des zweiten ferromagnetischen Schichtelementes (32) parallel zur Hauptachse des Zylinders 2 nm bis 20 nm beträgt.

7. Magneto-resistives Element nach Anspruch 1 oder 2,

- bei dem das erste ferromagnetische Schichtelement (41), das nichtmagnetische Schichtelement (43) und das zweite ferromagnetische Schichtelement (42) jeweils als Hohlzylinder ausgestaltet sind,

- bei dem das erste ferromagnetische Schichtelement (41), das nichtmagnetische Schichtelement (43) und das zweite ferromagnetische Schichtelement (42) konzentrisch zueinander angeordnet sind, wobei das nichtmagnetische Schichtelement (43) zwischen dem ersten ferromagnetischen Schichtelement (41) und dem zweiten ferromagnetischen Schichtelement (42) angeordnet ist,

- bei dem sich das erste ferromagnetische Schichtelement (41) und das zweite ferromagnetische Schichtelement (42) bezüglich ihrer Höhe parallel zur Hauptachse der Zylinder unterscheiden.

5

8. Magnetoresistives Element nach Anspruch 7,

- bei dem das erste ferromagnetische Schichtelement (41) einen Außendurchmesser zwischen 70 nm und 400 nm, einen Innendurchmesser zwischen 60 nm und 390 nm und eine Höhe parallel zur Hauptachse des Zylinders zwischen 35 nm und 180 nm aufweist,

10

- bei dem das zweite ferromagnetische Schichtelement einen Außendurchmesser zwischen 60 nm und 390 nm, einen Innendurchmesser zwischen 50 nm und 380 nm und eine Höhe parallel zur Hauptachse des Zylinders zwischen 50 nm und 400 nm aufweist.

15

- 20 9. Verwendung eines magnetoresistives Elementes nach einem der Ansprüche 1 bis 8 als Speicherelement in einer Speicherzellenanordnung.

FIG 1a

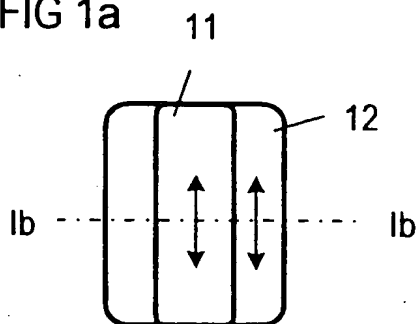


FIG 1b

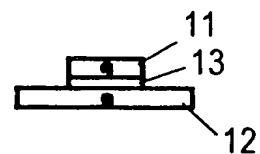


FIG 2a

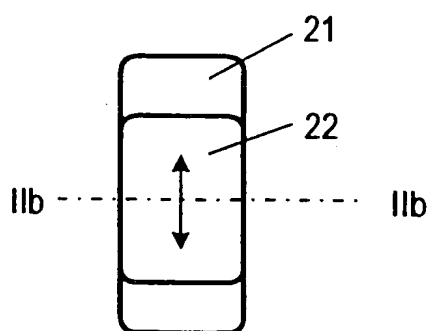


FIG 2b

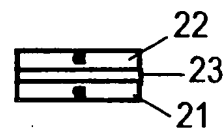


FIG 3a

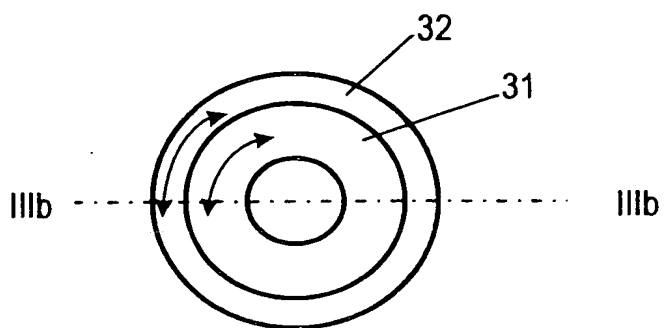


FIG 3b

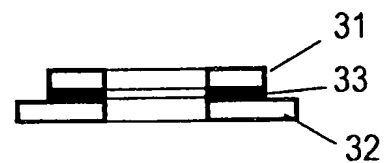


FIG 4a

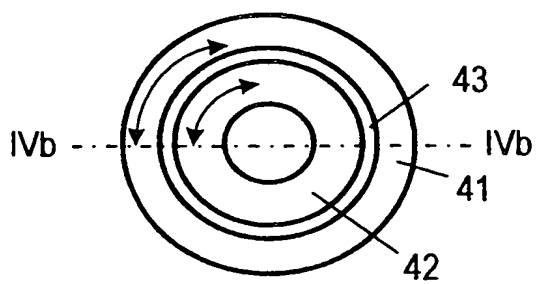


FIG 4b

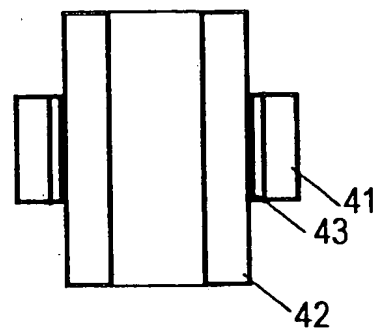
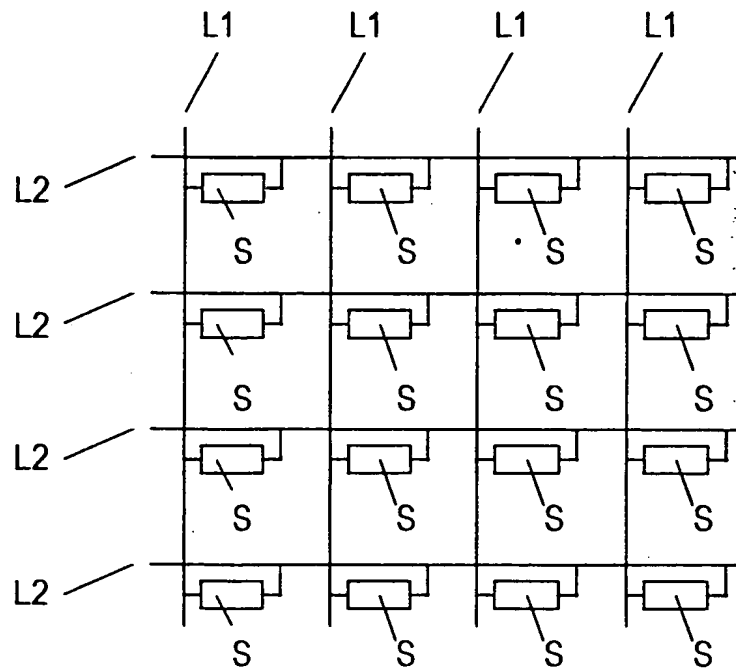


FIG 5



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/DE 99/02387

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

IPC 7 H01F10/08 H01L43/08 G11C11/15 G11C11/155 G11C11/16

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 7 H01F G11C

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	<p>DAUGHTON J M: "MAGNETIC TUNNELING APPLIED TO MEMORY (INVITED)" JOURNAL OF APPLIED PHYSICS, US, AMERICAN INSTITUTE OF PHYSICS, NEW YORK, vol. 81, no. 8, PART 02A, 15 April 1997 (1997-04-15), pages 3758-3763-3763, XP000702683 ISSN: 0021-8979 page 3758 -page 3760, column 1, paragraph 1; figure 3 page 3762; figure 8</p> <p style="text-align: center;">--- -/--</p>	1-3,9

☒ Further documents are listed in the continuation of box C.

☐ Patent family members are listed in annex.

* Special categories of cited documents :

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier document but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

28 December 1999

Date of mailing of the international search report

12/01/2000

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl.
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Decanniere, L

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/DE 99/02387

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category "	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	<p>TEHRANI S ET AL: "HIGH DENSITY NONVOLATILE MAGNETORESISTIVE RAM" INTERNATIONAL ELECTRON DEVICES MEETING (IEDM),US,NEW YORK, IEEE, 8 December 1996 (1996-12-08), page 193-196 XP000753747. ISBN: 0-7803-3394-2 cited in the application page 7.7.1, column 2, paragraph 4 -page 7.7.2, column 1, paragraph 1; figure 1 -----</p>	1,2

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/DE 99/02387

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES

IPK 7 H01F10/08 H01L43/08 G11C11/15 G11C11/155 G11C11/16

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierte Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)

IPK 7 H01F G11C

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	<p>DAUGHTON J M: "MAGNETIC TUNNELING APPLIED TO MEMORY (INVITED)" JOURNAL OF APPLIED PHYSICS, US, AMERICAN INSTITUTE OF PHYSICS, NEW YORK, Bd. 81, Nr. 8, PART 02A, 15. April 1997 (1997-04-15), Seiten 3758-3763-3763, XP000702683 ISSN: 0021-8979 Seite 3758 -Seite 3760, Spalte 1, Absatz 1; Abbildung 3 Seite 3762; Abbildung 8 ---</p> <p style="text-align: center;">-/-</p>	1-3,9

☒ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen

☐ Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

"E" älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung: die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung: die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

"Z" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

28. Dezember 1999

Absenddatum des internationalen Recherchenberichts

12/01/2000

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde

Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Decanniere, L

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/DE 99/02387

C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	<p>TEHRANI S ET AL: "HIGH DENSITY NONVOLATILE MAGNETORESISTIVE RAM" INTERNATIONAL ELECTRON DEVICES MEETING (IEDM),US,NEW YORK, IEEE,. 8. Dezember 1996 (1996-12-08), Seite 193-196 XP000753747 ISBN: 0-7803-3394-2 in der Anmeldung erwähnt Seite 7.7.1, Spalte 2, Absatz 4 -Seite 7.7.2, Spalte 1, Absatz 1; Abbildung 1 -----</p>	1,2

THIS PAGE BLANK (USPTO)